

鶴洋丸のプロペラ塗装効果の実験 - II

荒木 猛, 今田 忠志, 松山 晃, 西矢 豊就

Experimental Effect of Propeller-Coating
of Training Ship Kakuyo Maru-II

Takeshi ARAKI, Tadashi IMADA, Akira MATSUYAMA and Toyonari NISHIYA

The case of, departure of ship from Port ; the ship must arrived at the destination in security. Because, it is mission of ship. The propulsion system of ship is very important part for security of ship and crew, Therefore, engineers are has important watch to judge about clean or dirty of propeller blade. This judge does carry out departure of ship from port.

Propeller blade was certain soiled by adhere to the seaweeds and marine fouling animals of anchored ship in harbor, however, that degree of dirty does not judgment from on board. This time, a way condition of propeller underwater is observed to do diving of professional diver, but, this way is both very danger and need high cost.

A series of experiments, researched degree of dirty of propeller blade at measurement fuel pump index correspond with idle running of main engine and twice propulsion performance test from Mar. 1999 to Aug. 2000 on board the Kakuyo Maru.

From these experiments some result are obtained :

i) The fuel pump index is increased from 10.0mm to 10.8mm ; when, dirty condition of propeller blade. it rate of climb was 8%.

Some formulae figure calculated in unit of percentage, rate of propeller revolution, Rp and shaft horse Power, Ne are :

$$\begin{aligned} \text{Experiment - 3 (Exp - 3)} \\ \text{Ne} &= 15.8331\text{Rp} - 78.80 & (r=0.9954) \\ \text{Experiment - 4 (Exp - 4)} \\ \text{Ne} &= 17.9308\text{Rp} - 163.02 & (r=0.9993) \end{aligned}$$

Key words: fuel pump Index ; 燃料ポンプ指示値 torque ratio ; トルク比
ratio of propeller revolution ; プロペラ回転比

船舶が長時間停泊すると、船体の浸水部およびプロペラは、海藻や海洋微生物（付着動物）の付着によって必ず汚損される。これは、水上に浮かぶ船舶の宿命である。近年、プロペラ防汚塗料は数種類開発されているが、長期的な防汚効果の維持と、耐久性の向上が課題として残っている。それらの中で、防汚塗料バイオクリンDXの防汚効果が、一年間有効なことは前報¹⁾で述べた。

係船中の船舶においては、船上で、プロペラの汚損量を定量的に計測することは不可能とされてきた。そこで、著者らは1991年以降、毎年、10月からの遠洋航海前に、推進装置の効率的運転の維持に備え、停泊中プロペラの汚損状況を潜水作業により調査してきた。しかしながら、潜水作業は大変危険なうえに多大な経費を必要とする。既に、水中のプロペラ汚損量を推計した報告²⁾はあるが、船上でも汚損量を定量的に、概略推計可能とする簡便な装置の技術開発が待たれる。

今回は、1999年3月から2000年8月まで、本船が係船中における主機関用燃料ポンプ指示値 (PI) を採用して、プロペラの汚損程度を推計する実験を行った。さらに、1999年7月15日と同年10月28日に、主機関推進性能試験の実験を行って、PIの読み取りによる推計の良否を検証した。これらの結果に

ついて若干の知見を得たので報告する。

1. 資料と実験方法

実験は、長崎大学水産学部附属練習船鶴洋丸を使用して行った。ここで実験船およびプロペラの主要目、また、プロペラ塗装方法は前報¹⁾に述べたので省略する。次に、推計に用いた負荷計は、横河電気2101形広角度指示計を使用した。PI読み取り値は、主機関をアイドル回転数 (360rpm) で運転し、その後、クラッチを入れプロペラを回転させると、主機関には負荷が加わり、PIはこの負荷に対応した相関値を示す。したがって、著者らは、プロペラが清浄な時のPIを基準値 (10mm) として、時間経過に従って変動する値を計測して、その上昇の程度によりプロペラの汚損程度を推計した。計測した年、月、日およびPIの値をTable 1に示す。次に出渠後、2箇月経過した1999年7月15日 (Exp-3) と、5箇月を経過した10月28日 (Exp-4) に、2回の推進性能試験を実施し、計測結果をTable 2に示した。性能試験を行った海域の天候および海況は、晴れ、風力4~5とほぼ同じである。翼角 (θ_p) を約17°に設定し、プロペラ回転数 (N_p) を航海中に多用

Table 1. Measured record of fuel oil pump index

Date	Pump index (mm)	Date	Pump index (mm)	Date	Pump index (mm)
16 Mar. 1999	10.5	10 Aug. 1999	10.5	16 Dec. 1999	10.2
18 Mar.	10.8	27 Aug.	10.5	16 Mar. 2000	10.5
26 Mar.	10.0	31 Aug.	10.6	18 Mar.	10.8
8 June	10.1	4 Sept.	10.6	10 Apr.	10.8
9 June	10.2	24 Sept.	10.6	10 May	10.1
11 June	10.1	1 Oct.	10.7	15 May	10.1
15 June	10.2	2 Oct.	10.5	24 May	10.1
24 June	10.0	17 Oct.	10.5	5 June	10.1
1 July	10.0	24 Oct.	10.5	6 June	10.0
12 July	10.3	20 Nov.	10.3	8 June	10.0
14 July	10.5	27 Nov.	10.3	19 June	10.1
30 July	10.5	2 Dec.	10.2	26 June	10.2

Table 2. Data of propulsion performance test

	Exp - 3						Exp - 4					
Np	231.5	240.4	245.4	250.3	256.9	259.9	229.9	240.0	244.9	250.0	256.0	260.0
L	47.4	53.7	55.6	61.0	65.4	68.9	45.3	52.8	56.5	61.2	66.1	70.4
PI	17.8	19.4	19.9	21.0	21.7	22.2	17.4	19.4	20.1	21.1	22.4	22.9
θ_p	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
V	12.2	12.7	12.9	13.0	13.2	13.5	12.0	12.7	12.8	13.0	13.3	13.4
G	213.9	239.4	253.5	276.4	301.5	311.5	219.9	253.6	269.7	290.5	312.4	331.0
Ne	977.0	1106.0	1144.0	1256.0	1347.0	1419.0	994.0	1147.0	1218.0	1317.0	1420.0	1510.0
be	221.2	221.1	221.0	221.3	221.8	221.8	222.4	221.3	221.9	220.9	220.8	222.5

Remarks: Various condition throughout the above measurements were:

- 1) displacement of KaKuyo maru: 1700 ~1800 tons
 - 2) moderate sea with following moderate breeze (6~8 m/sec)
- Np : Revolution per minute of propeller (rpm)
 L : Load factor (%)
 PI : Fuel oil pump index (mm)
 θ_p : Propeller pitch angle (°)
 V : Ship speed (knot)
 G : Consumption value of fuel oil (kg/h)
 Ne : Shaft horse power (kw)
 be : Consumption rate of fuel oil (g/kw·h)

する回転数から230, 240, 245, 250, 255, 260rpmのそれぞれ6点を選定し, 段階的に変化させて船体と推進機関の運転諸元を計測した。これら運転諸元の計測方法は, 既に報告³⁾した通りである。また, トルク比 (R_t) は計算して求めた。

2. 結果

2.1 負荷計指示の変動とプロペラ汚損

出渠直後のプロペラ羽根表面の粗度は, 羽根表面が清浄で滑らかであるから小さい。しかし, 停泊時間が長くなるに伴って, 羽根表面に付着した海藻や付着動物により粗度は増加する。粗度が増したプロペラが水中で回転すると, 羽根表面近くの水流は乱れを生じて渦が発生する。そして, 摩擦抵抗

は増大し主機関の燃料消費量は増加する。船の係船中, 主機関の軸馬力 (N_e) の変動を計測してプロペラ羽根の汚損程度を推計した報告⁴⁾もある。

Fig.1は, 横軸に時間経過を, 縦軸にPIの値をとって, 読み取ったPIの変動を示した図である。1999年3月から2000年8月までのPIを記号にてプロットした。図中のSは実習航海もしくは, 調査航海期間を示し, またLは停泊期間を示す。そして, Dockは4月10日から5月10日までの入渠工事期間を示した。1999年3月16日短期間航海への出港時の計測値は10.5mmであり, わずか3日間の航海を経た3月18日寄港地にての計測値は, 10.8mmまで上昇している。しかしながら, 出渠直後PIは10mmへと回帰する。6月の航海では停泊期間が短くてもPIは上昇を始める。このことは, 7月に入ってか

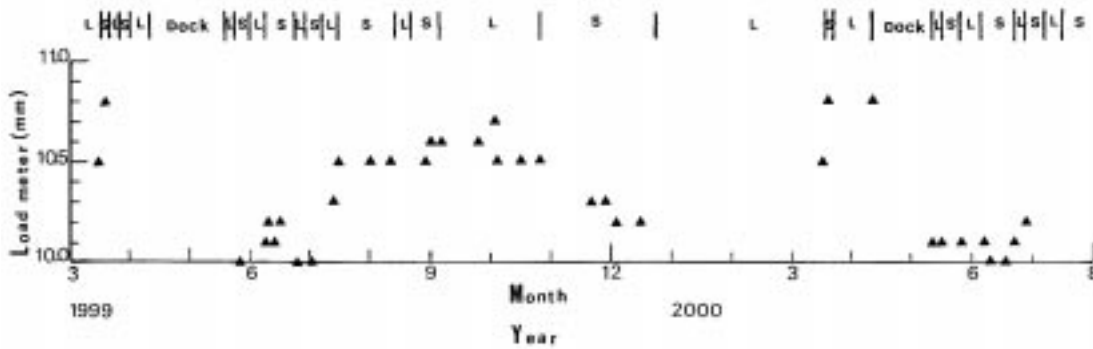


Fig. 1 Fluctuations between the load meter and running hours of main engine. L is lei at anchor, S: training voyage and : fuel oil pump index of main engine.

らの航海中の計測でも同じ現象が見られ、その上昇の度合いは急激である。上昇したPIは、8月から9月までの夏期下がることなく、時間経過に伴って漸次上昇して10.7mmを示す。実験船は10月始めから遠洋航海に出港する10月24日まで、1箇月間の長期停泊となり、10月19日潜水作業でプロペラの掃除を行う。これにより、出港時に計測したPIは10.5mmまで低下する。潜水作業の所見によると、羽根先端の塗膜が一部剥離し、径5mm程度のフジツボ類とカンザシゴカイ類の付着が見られた。羽根中央部から根元にかけての塗膜は清浄であり汚損状態は軽度であった。プロペラ羽根の清掃は、金ヘラにより付着動物を除去する簡便な方法を行った。10月24日から12月21日までの遠洋航海に出港中、外国寄港地での計測値は、10.2~10.1mmへと低下している。しかし、長崎に帰港し3箇月間の長期停泊後に、短期間航海を行った2000年3月には、10.8mmまでPI値は再び上昇する。そして、2000年の入渠工事におけるプロペラ羽根清掃作業によりPIは10.1mmまで低下する。この時の、全般的なプロペラ羽根所見は、塗装膜は残っていて付着動物および海藻の付着が少なく羽根表面は清浄であった。一枚の羽根を前進面、後進面および羽根根元ボス付近と三分割して観察したところ、前進面は、塗装膜が羽根面積の50%程残存し、この塗装面の付着動物の量は少なく、カンザシゴカイ類が点在して付着していた。そして、フジツボ類の付着した痕跡は見られなかった。前進面での付着動物の付着湿重量は2g/100cm²であった。後進面の塗装膜は、羽根面積の50%程残存し、その塗装面には付着動物の付着量は極く少量で計量できなかった。羽根根元およびボス付近は、コンクリートキャップ周囲に大量の付着動物と海藻の

付着が見られた。

2.2 トルク比の変動とプロペラ汚損

船舶がある速力(V)で航行している時、推進機関のNeはNpの3乗に比例する。⁵⁾したがって、Ne/Np³と定格軸馬力(Neo)/定格プロペラ回転数(Npo³)との割合(トルク比R_τ)⁶⁾を求めることは、船体及びプロペラの汚損状態を判断する資料となる。

ディーゼル機関の場合、R_τは次の式で示される。

$$R_{\tau} = (Ne/Np^3) / (Neo/Npo^3) \quad (1)$$

(1)式から、実験船が $\theta_p = 15^{\circ} \sim 16^{\circ}$ で航海中におけるR_τの値を求めて、推進機関の運転時間経過に対する変動を調べ、Fig.2に示した。横軸に実験船の1998年から2000年までの運転時間経過をとり、縦軸にR_τを記号でプロットして示した。また、実験船が出渠した日を破線で示した。R_τ値は、出渠後の航海では小さい。しかし、実験船の運転時間経過と共に漸増している。この傾向は、3年間を通して同じである。そして、1998年と1999年の遠洋航海が終了する12月頃R_τは最大値を示す。しかしながら、R_τ値の変動幅を、出渠後から8月までを年次の前半に、10月から翌年の3月までを後半と区分けして求めると、1998年が前半0.577、後半0.731、1999年は0.526と0.740および、2000年の前半では0.527、0.649と小さい。また、1998、1999年を同じ方法で年次の前半と、後半とに区分けしてそれぞれのR_τの平均値を求めた。1998年の前半は0.6539、後半では0.6802となり、1999年は、0.6153および0.7036といずれも後半でR_τの平均値は大きくなった。

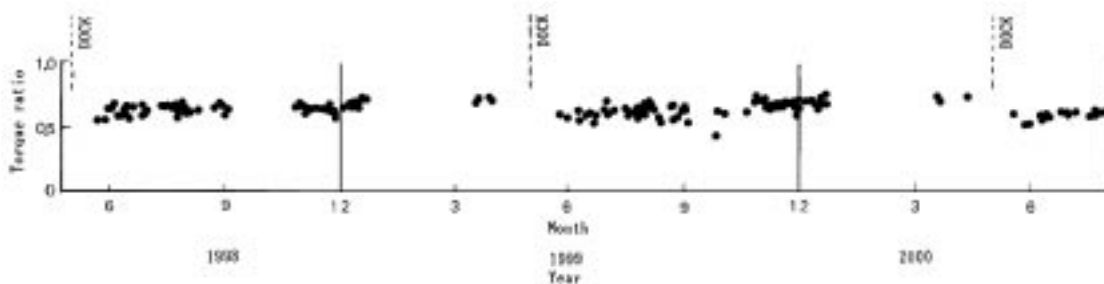


Fig. 2 Fluctuations between torque ratio and running hours (Month) of main engine from May 1998 to August 2000.

2.3 軸馬力 - プロペラ回転比

船体浸水表面積や船体付加物の増加そして、プロペラが付着動物等によって汚損されると N_e が増大することは、前報¹⁾で述べた。この、 N_e の増大は汚損された箇所を清浄にしない限り進行する。このことにより、燃料消費量は増加し、主機関の N_e は急激に増大して排気温度が上昇する。すなわち、トルクリッチに近い状態となる。

船舶の、 N_e 、 N_p および V の三者における相関は、 $N_e \propto N_p^3$ である。そして、 $V \propto N_p$ の関係からプロペラ回転比 ($R_p = N_p/N_{p0}$) は、 $N_e \propto R_p^3$ 、 $V \propto R_p$ であると言える。 N_e の狭い範囲では、 N_e と R_p との間の相関は直線とみなして直線回帰式で近似すると次のようになる。

$$N_e = 15.8331R_p - 78.80 \quad (\text{Exp-3}) \quad (2)$$

($r = 0.9954$)

$$N_e = 17.9308R_p - 163.02 \quad (\text{Exp 4}) \quad (3)$$

($r = 0.9993$)

上式を使って、Exp-3とExp-4の N_e と R_p との関係を、Fig.3に示す。図は、横軸に R_p を、縦軸に N_e をとって計測した N_p をパラメータとしてプロットしている。記号 \bullet は、Exp-3の N_e を示し、記号 \circ は、Exp-4における N_e を示す。Exp-4の

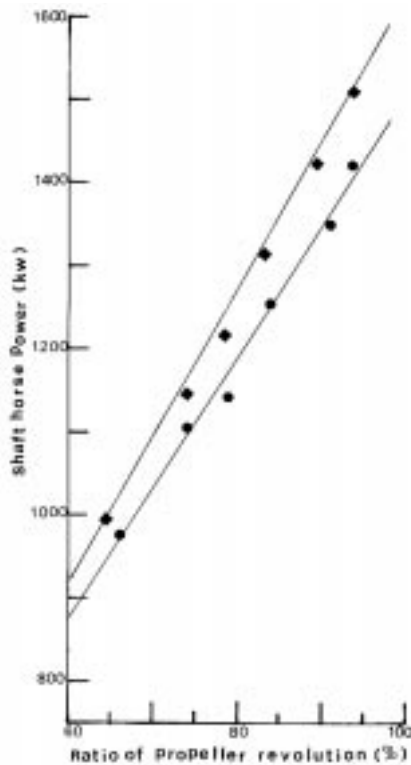


Fig. 3 Interrelation between shaft horse power (kw) and ratio of propeller revolution (%) on third and fourth experiment.
 \bullet is shaft horse power on third experiment,
 \circ shaft horse power on fourth experiment,

回帰直線の傾きがExp-3の傾きより大きい。

今、Fig.3を使って $\theta_p = 17^\circ$ 、 $R_p = 84\%$ ($N_p: 250\text{rpm}$)の運転諸元で航走している時の、Exp-3、Exp-4の回帰直線からそれぞれの N_e は、1255KWおよび1345KWと求められ、その差は90KWとExp-4がExp-3より増大している。次に、(2)、(3)式を使ってExp-3、Exp-4の N_e を計算で求めると、1251.2KWと1343.2KWとなり、Exp-4の N_e が92.0KW増大していることが知れる。

3. 考 察

今回の実験から、船体浸水面やプロペラが付着動物および海藻により汚損された状態の船舶が、常用航海速度で航走するとき、次のような悪影響を受けることが判った。

- 1) 実験船のPIは、プロペラ羽根表面が清浄な時の基準値10mmから汚損された状態では10.8mmまで上昇する。その上昇率は8%である。これは、プロペラに付着動物および、海藻の付着したことにより、プロペラの重量が増加したことと、プロペラ粗度の増加に起因した摩擦抵抗の増加したことによる
- 2) プロペラの汚損が進むと、 N_e - R_p 直線の傾きは大きくなる。そして、 N_e はこれらが清浄な時より92.0KW増大し、その上昇率は7.35%となる。 N_e の上昇率はPIの上昇率とほぼ同じある。したがって、PIの上昇率からプロペラ羽根の汚損の程度を定性的に推定できる。
- 3) R_r の値の変動は、年間を通して小さい。しかし、年次の後半では R_r の値は漸次上昇している。これは、船体やプロペラが汚損していることを示し、プロペラは清浄な状態の時より重いと言える。

謝 辞

本報告を草するにあたり御指導いただいた本学部教授合田政次博士に厚く御礼申し上げます。ならびに、本研究に終始御協力を頂いた鶴洋丸機関部の各位に深謝いたします。

文 献

- 1) 荒木 猛 他3名: 本誌, 81, 69-75, (2000).
- 2) 中井 昇 他1名: 日本船用機関学会誌, 678, 10 (1993).
- 3) 西矢豊就 他5名: 本誌, 68, 72-73, (1990).
- 4) 関岡幹尚 他3名: 鹿児島大 研報, 42, 27-28, (1993).
- 5) 飯田正一 他2名: 機関科提要(中巻), 海文堂, 東京 (1980), 316.
- 6) 吉田 毅: 内燃機関, アース社, 東京, (1982), 53.